



## **(T1) Patrones de cambio espacio-temporal en la cuenca alta del río Cauca, Colombia, mediante análisis de información satelital multisensorial**

Patterns of space-time change in the upper Cauca river basin, Colombia, through analysis of multisensory satellite information

Leonairo Pencue-Fierro<sup>1</sup>, Apolinar Figueroa-Casas<sup>2</sup> & Tatiana Solano-Correa<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** Pencue-Fierro, L., Figueroa-Casas, A., Solano-Correa, T. (2019). Patrones de cambio espacio-temporal en la cuenca alta del río Cauca, Colombia, mediante análisis de información satelital multisensorial. *Revista de Topografía Azimut* (10), pp xx-xx

Fecha de recepción : 20 de marzo de 2019 – Fecha de aceptación: 20 de mayo de 2019

### **(T2) Resumen**

La cuenca alta del río Cauca (CARC) se caracteriza por ser una región enmarcada por las cordilleras Occidental y Central colombianas, en el valle resultante discurre el río Cauca de sur a norte, desde el macizo colombiano hasta la región central del país, recogiendo las aguas de los tributarios que vienen de las montañas y avanzando por valles que alternan superficies planas y onduladas a lo largo del valle interandino. La cuenca alberga una amplia variedad de ecosistemas que interactúan con las actividades socioeconómicas, como lo confirman los análisis estadísticos sobre la distribución de diferentes coberturas en los estudios realizados sobre las regiones, agrupadas según los departamentos y luego por subcuencas priorizadas. En este trabajo se presentan los resultados del análisis espacio temporal del comportamiento de las coberturas en la cuenca de interés, la información obtenida demuestra que la cuenca está sufriendo amplios cambios que deben ser tenidos en cuenta en la toma de decisiones para garantizar la sostenibilidad de la región.

**Palabras clave:** cuenca alta del río Cauca, patrones de cambio, análisis espacio-temporal.

### **ABSTRACT**

The Upper Cauca River Basin (CARC, acronym in Spanish) is characterized by being a region framed by the Colombian Western and Central mountain ranges, in the resulting valley the Cauca River flows from south to north, from the Colombian Massif to the central region of the country, collecting from the tributaries that come from the

<sup>1</sup> Grupo de Óptica y Láser/Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca, Popayán

<sup>2</sup> Grupo de Óptica y Láser/Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca, Popayán

<sup>3</sup> Grupo de Óptica y Láser/Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca, Popayán

mountains and advancing through valleys along the inter-Andean valley. The basin hosts a wide variability of ecosystems that interact with socio-economic activities, as confirmed by the statistical analyses on the distribution of different landcovers in the studies carried out on the regions, grouped according to departments and then by prioritized sub-basins. In this paper we present the results of the spatio temporal analysis of the landcover behavior in the basin of interest, the information obtained shows that the basin is undergoing extensive changes that must be taken into account in decision-making to guarantee the sustainability of the region.

**Keywords:** Upper Cauca Basin, change patterns, spatio temporal analysis.

## **(T2) Introducción**

Los cambios multitemporales de las coberturas vegetales en la cuenca alta del río Cauca (CARC) son un factor fundamental para el análisis y comprensión de las dinámicas que acontecen sobre la región, debido a que permiten establecer las tendencias posibles de evolución y, con esto, orientar políticas y planes de acción. Como todo sistema intervenido por el ser humano, la cuenca soporta las actividades de alta y baja escala que realiza la población para la producción de bienes o servicios como actividades socioeconómicas. El cambio climático y fenómenos como El Niño también aportan como factores potenciadores de los cambios, incluso en el caso de coberturas no intervenidas (Pencue-Fierro, 2016).

Como es de conocimiento, es deseable encontrar niveles de equilibrio entre coberturas productivas, como proveedoras de alimentos principalmente, y coberturas naturales, como proveedoras de bienes y servicios ambientales, necesarios para la obtención de agua, la captura de carbono, la renovación del aire, entre otros. De esta manera, es necesario conocer muy bien los cambios y tendencias de coberturas como cultivos, terrenos desnudos, bosques artificiales, zonas urbanas y pastizales (asociados a terrenos de explotación ganadera, aunque no siempre es el caso) en complemento con los bosques naturales y páramos, para garantizar una región en la que en un plazo suficientemente amplio sea posible obtener elementos tan vitales como el agua y el aire renovado, tanto para uso doméstico como para el desarrollo de las actividades productivas de la región (Pencue-Fierro, 2015).

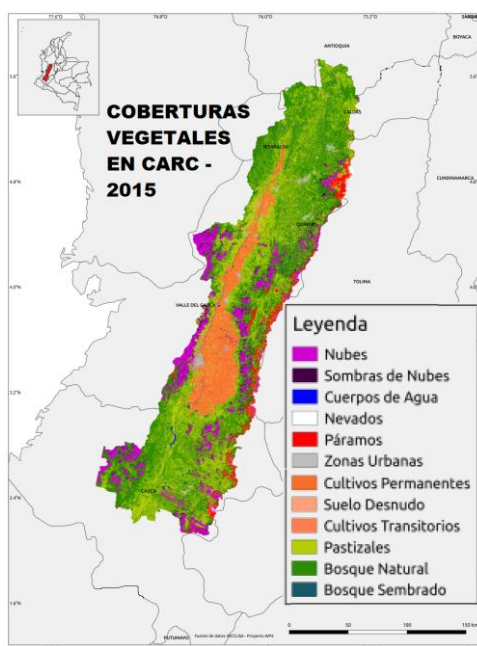
En este trabajo se analizan los hallazgos obtenidos en las ventanas de observación de la base de datos histórica procesada y en términos de las series coherentes que se pudieron construir para un análisis confiable. Los resultados se interpretan de manera previa en concordancia con los estadísticos por cobertura, pero, de acuerdo al interés específico, se pueden ‘leer’ otros aspectos subyacentes posibles al contrastarse con factores más allá del alcance de este estudio.

## **(T2) Materiales y métodos**

Los datos de la región de interés se analizaron de acuerdo con la información satelital disponible de alta resolución (Programa Landsat de NASA, principalmente, y Sentinel de ESA) y fueron realizados para los años 1989, 1999, 2008 y 2015, por ser los que conformaron una serie temporal coherente respecto a la cobertura nubosa y la época fenológica. El desarrollo de los algoritmos de reconocimiento de coberturas terrestres exigió la recolección de grandes cantidades de datos en campo, tratando de hacer un cubrimiento suficientemente amplio como garantía objetiva para la optimización, el

análisis del desempeño y la validación de los resultados obtenidos (Pencue-Fierro, 2016).

La información consolidada se ha acopiado en una base de datos con matrices georreferenciadas, mapas cartográficos, gráficos interactivos y tablas para el manejo personalizado de la información, todos especificados desde el contenido global hasta los departamentos y las cuencas. Lo que se presenta en este capítulo es el resultado, desde el punto de vista estático, de las coberturas para el año 2015; se busca brindar información que permita conocer del contenido y distribución espacial de cada cobertura obtenida y dónde predominan ciertas configuraciones en la CARC, con el fin de tener una base de análisis para la información que será presentada en los siguientes capítulos.



**Figura 1.** Área de estudio: CARC. Coberturas vegetales de la CARC

### **(T3) Área de estudio y datos**

El área de estudio comprende la intersección de los departamentos Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Quindío y Caldas, con la divisoria de aguas entre las cordilleras Central y Occidental, conformando el valle interandino en el que transcurre el río Cauca en su parte alta de la cuenca (figura 1).

### **(T3) Metodología propuesta**

Los datos se obtuvieron *in situ*, a través de salidas técnicas, para la conformación de una base de datos óptima para la verificación del proceso de clasificación de coberturas del suelo. Se plantea y desarrolla una estrategia para la toma de muestras en campo de las coberturas vegetales que se encuentran en las regiones estudiadas localmente.

La cuenca alberga una gran variedad de coberturas vegetales y su importancia para la región radica en la alta producción de diferentes variedades de cultivos, además de coberturas como bosques naturales, bosques plantados, pastizales y páramos, lo que la convierte en una región apta para la conformación de una base de datos de diferentes coberturas estudiadas.

La estrategia de recolección de puntos y rutas georreferenciadas de las zonas donde están ubicados los cultivos, bosques y pastizales, el plan de recorrido se diseña teniendo

en cuenta mapas de clasificaciones realizados previamente a través del sistema de clasificación implementado desarrollado previamente (Pencue-Fierro, 2016), que consistió en un sistema semisupervisado híbrido basado en árboles de clasificación y regresión (CART), complementado con una máquina vectores de soporte (SVM) como método de agrupamiento. Además, se llegó a tres consideraciones importantes durante la captura de los datos: a) la cobertura nubosa debe ser mínima, de manera que se evite la pérdida de la información sobre la zona de interés o nula; b) la fecha de los mapas de clasificación a evaluar debe ser cercana al día de la visita técnica, para así evitar que por procesos de rotaciones de cultivos la cobertura obtenida por el sistema no coincida con la cobertura que se encuentra actualmente; c) toda zona representada en una cobertura de interés para el proyecto debe ser mayor a una hectárea para evitar mezclas espectrales.

Se adelantaron procesos para la obtención de características adicionales sobre las muestras satelitales que se tienen de la CARC que puedan ser usadas para el mejoramiento del proceso de clasificación de coberturas del suelo. Se implementó un algoritmo que complementó el proceso de extracción de las muestras que, inicialmente, estaba basado en obtención de rangos espectrales y que representan las diferentes coberturas analizadas en el proyecto. El resultado fue un mapa etiquetado que permitió la agrupación de conjuntos de características de entrada al sistema que generaron nuevos clústeres para el análisis y una posterior clasificación de las zonas.

Se implementó un algoritmo de clasificación con el que se obtuvo, de forma automática, la clasificación de la región a través de la representación de 12 coberturas. Se aplicó sobre el área de estudio para diferentes temporalidades. Así mismo, se conformaron bases de datos de las coberturas analizadas. El sistema se evaluó a través procesos estadísticos y se determinó su precisión general. Por último, se realizó la comprobación a través de fotointerpretación sobre las imágenes disponibles.

Después de obtener las evaluaciones de clasificadores se acopió la información para generar las estadísticas de las temporalidades disponibles en los sensores. Esta información se discriminó por departamentos y subcuencas de interés para los análisis en específico. Finalmente, se realizaron los desagregados por alturas para obtener la distribución de coberturas, según nivel altitudinal; este proceso se logró según los mapas de elevación disponibles (DEM), con lo cual se dilucidó el comportamiento en una dimensión adicional, y se alcanzó otro nivel de interpretación importante tanto desde lo biofísico como desde lo socioeconómico.

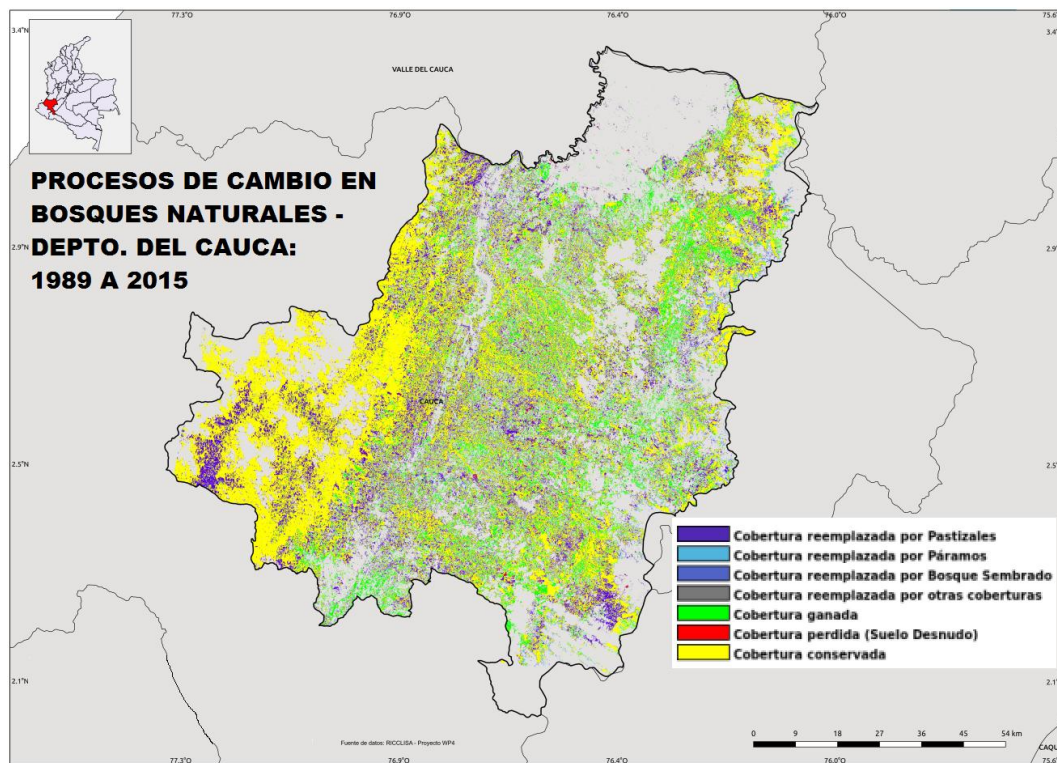
## **(T2) Resultados y discusión**

En el estudio comparativo entre los años 1989 y 2015 sobre el departamento, la CARC muestra áreas muy amplias de bosques naturales, lo que la convierte en una cobertura mayoritaria. En la figura 2 se observa la extensión en el departamento del Cauca en la zona que abarca la región CARC. Según el código de color establecido (amarillo: estable; verde: ganancia; violeta: pérdida) hay una estabilidad mayoritaria de la cobertura (no hay cambios entre los años analizados); sin embargo, hacia los extremos norte, sur y occidente, los pastizales ganaron amplias zonas, posiblemente debido a focos de deforestación que con el tiempo se convirtieron en potreros o en cultivos, que en etapas tempranas responden espectralmente como un pastizal.

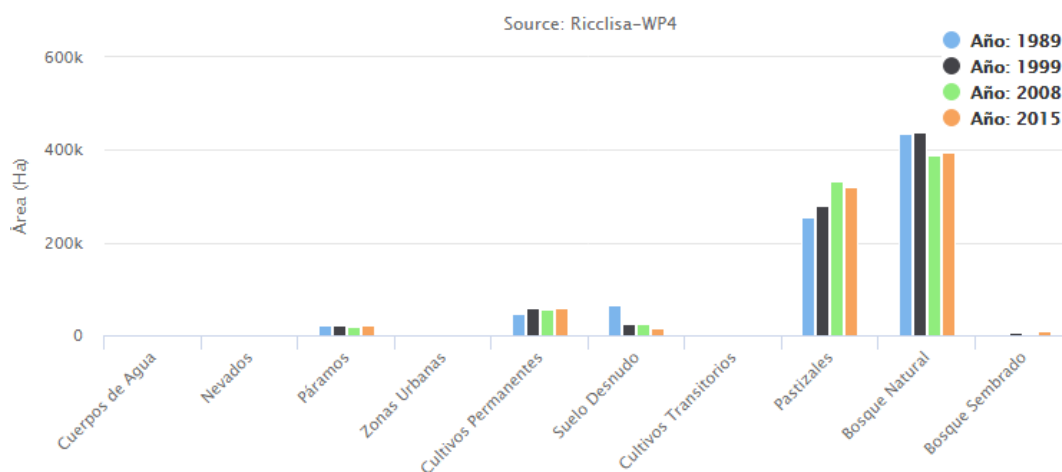
Sin embargo, se nota también la recuperación del bosque sobre varios puntos específicos que cubren la totalidad de la zona en observación, especialmente notable es la alta densidad de la mejoría sobre la parte norte de la cordillera Central. Debido a la dinámica



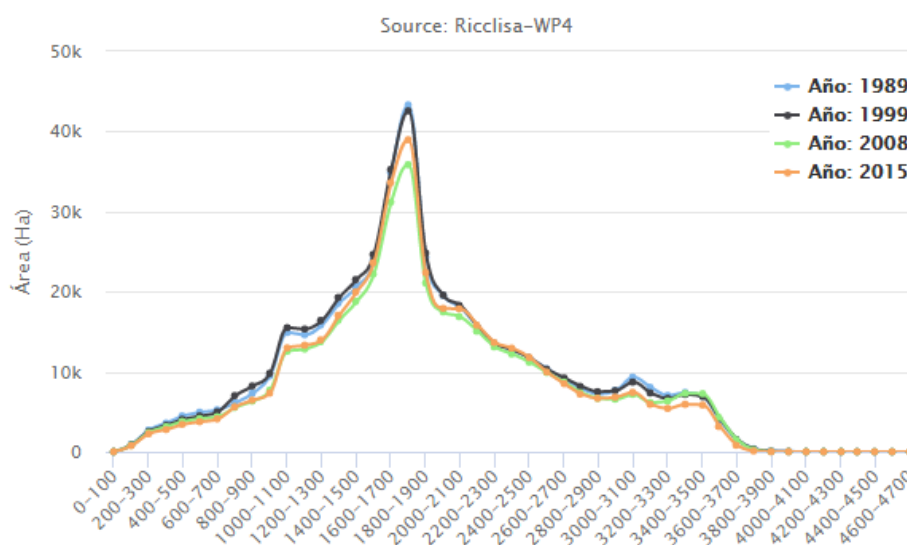
asociada a los pastizales, en varios años se mantienen, así como las regiones donde han ganado espacio, coincidiendo con lo observado en la figura 1 para la pérdida de bosques. Solo en la parte norte se observan focos de pérdida asociados a los cultivos de la zona más plana del departamento.



**Figura 2.** Cambios de la cobertura boscosa en el departamento del Cauca



**Figura 3.** Estadísticas generales en el departamento del Cauca



**Figura 4.** Estadísticas desagregadas para los bosques en el Cauca

Otra forma de observar los cambios sobre el departamento es a través de las estadísticas consolidadas para los diferentes años. En la figura 3 se observan las diferentes coberturas de acuerdo con el año de medida; las coberturas mayoritarias (bosque natural y pastizales) representan los intercambios mutuos observados en las figuras previas. Los páramos como cobertura minoritaria constituyen coberturas relativamente estables. El suelo desnudo presenta cambios importantes, pero al asociarse a estados intermedios de cultivos, no es necesariamente una medida indicativa de degradación de otra cobertura. Las otras coberturas no aparecen indicadas porque la escala de las coberturas mayoritarias hace que parezcan despreciables, sin embargo no los son, por cuestiones de espacio no se presentan en gráficos adicionales o en tablas.

En la figura 4 se ilustran las estadísticas desagregadas en alturas para la cobertura boscosa. Se pueden observar las franjas altitudinales en las que la cobertura se ha perdido y en las que se ha mantenido intacta, esta información es importante para establecer las regiones de acción, especificando las de manejo prioritario para impedir que se siga perdiendo la cobertura. De igual manera, se obtuvieron las estadísticas desagregadas por alturas para los pastizales, en este caso se observa una ganancia generalizada de la cobertura hasta regiones tan altas como a los 3600 m s.n.m.

En el departamento del Valle del Cauca se evidencia una dinámica similar respecto a la permanencia y ganancia en regiones amplias sobre las cordilleras Occidental y Central. La parte plana (franja central de sur a norte) carece, casi en su totalidad, de cobertura boscosa. Los cultivos permanentes constituyen los factores dominantes sobre esta franja; además, son parte densa de la cobertura sobre toda la región plana alrededor del río Cauca y entre los piedemontes de las cordilleras.

Es de resaltar la permanencia de los cultivos de manera mayoritaria y la ganancia de amplias áreas al norte y al sur, pero al observar en detalle el mapa inicial, la ganancia es sobre suelo desnudo. Igualmente, hay cierta pérdida hacia pastizales y suelo desnudo, pero estos son probablemente estados intermedios entre etapas productivas, por lo que se puede concluir que la totalidad de la región mostrada se compone de una zona dedicada, durante décadas, única y exclusivamente a la agricultura. El valle productivo ha sido y es una región de alta dinámica agrícola dedicada al cultivo de amplias áreas de

caña, sorgo, arroz, entre otros, por lo que el monocultivo es el factor dominante en la región. Se percibe la permanencia de pastizales, principalmente en el área montañosa. En la región norte hay una amplia ganancia de área, pero un análisis detallado indica que es sobre el suelo desnudo en la parte plana, por lo que para las fechas analizadas se puede tratar de amplios cultivos en estadios tempranos

La dinámica en los departamentos de Quindío, Risaralda y Caldas es muy acentuada respecto a que, en el caso del área boscosa y de pastizales, presenta cambios importantes en toda la geografía, que por las características topográficas es muy similar. Se ven los cambios en la migración masiva hacia pastizales, consolidando el área con el contenido previo principalmente en las áreas altas de la cordillera Occidental.

Un aspecto a tener en cuenta es la ganancia de ciertas áreas de bosque sobre las áreas de pastizales, para análisis detallados respecto a los cambios que pueden estar sucediendo. Como aspecto puntual, sobre el departamento de Risaralda solo se pudieron analizar dos escenas debido a la casi permanente presencia de nubes en la región

## **(T2) Conclusiones**

Se cuenta con una metodología adecuada a las condiciones locales para el reconocimiento efectivo de las coberturas vegetales, su obtención en series temporales, el análisis espacio temporal, la generación de estadísticas y la desagregación por alturas, lo cual permite el estudio por cobertura y zona de interés.

## **(T2) Referencias bibliográficas**

- Pencue-Fierro, E.L. *et al.* (2016). A Semi-Supervised Hybrid Approach for Multitemporal Multi-Region Multisensor Landsat Data Classification. *IEEE Journal of Selected Topics in App. Earth Obs. and Rem. Sensing*, 9(12), 5424-5435. DOI: 10.1109/JSTARS.2016.26210.1109/JSTARS.2016.26235673567
- Pencue-Fierro, E.L. y Figueroa-Casas, A. *et Al* (Julio, 2015). Land cover change dynamics and multi-factor analysis in high mountains basins of Colombian Andes. En *8th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (Multi-Temp)* (pp. 1-4). Annecy, Francia.